

Wurzeigenschaften von Zwischenfrüchten und ihre agroökologische Funktion

Gernot Bodner^{1*}, Arno Kastelliz², Peter Liebhard¹, Willibald Loiskandl³,
Margarita Himmelbauer³ und Hans-Peter Kaul¹

Zusammenfassung

Das Wurzelsystem von Zwischenfrüchten ist für deren agroökologische Leistung entscheidend. Bildanalytisch erhobene Daten zeigten, dass sich die Arten vor allem in ihrer Wurzelichte im Oberboden unterschieden. Die Tiefenverteilung der Wurzeln war stark von den Jahresniederschlägen beeinflusst. Wurzelrückstände unterlagen einer wesentlich langsameren Mineralisierung als die oberirdischen Pflanzenreste. Mit Hilfe eines Simulationsmodell wurden die hydrologischen Auswirkungen unterschiedlicher Wurzelverteilungen geprüft. Bei einer vollständig den Boden bedeckenden Begrünung mit tiefem Wurzelsystem und frühem Saattermin liegt der Wasserentzug in einem Trockenjahr um 63 mm über einer Schwarzbrache. Dagegen ist der Wasserverbrauch bei dem üblichen Saattermin Ende August nur geringfügig höher als bei einer Brache, vor allem für die zumeist oberflächennahe Wurzelkonzentration von Zwischenfrüchten. Eine tiefwurzelnde Begrünung ist dagegen für die Reduktion von Nitrat-Verlagerung ins Grundwasser von großer Bedeutung. Das Wurzelsystem einer Zwischenfrucht ist entscheidend für eine erfolgreiche Begrünung und daher für ein standortangepasstes Management zu berücksichtigen.

Schlagwörter: Wurzelverteilung, Zwischenfrucht, Wasserhaushalt, Simulation

Summary

The root system of cover crops is essential for their agroecological performance. Based on image analysis based root data, we showed that species differed mainly in their surface near rooting density. Root depth distribution was mainly influenced by annual precipitation. Root residues showed a significantly slower mineralization compared to above ground residues. Using a simulation model, the hydrological effects of different root distribution was tested. An early seeded cover crop with high coverage and deep root system extracted 63 mm more water in a dry year compared to fallow. Water use of a cover crop sown at the end of August on the contrary had only slightly higher water use, particularly for root systems concentrated in the upper soil layers as commonly found in cover crops. For efficient nitrate uptake to avoid leaching losses however a deep root system is essential. As root properties determine the success of cover cropping, they should be considered in for a site adapted management.

Keywords: root distribution, cover crops, water uptake, simulation model

Einleitung

Zwischenfruchtbau gehört zu den wichtigsten Agrarumweltmaßnahmen in Europa. Zielsetzungen des Zwischenfruchtbaus sind Verringerung der Nitratauswaschung, Erosionsschutz, Verbesserung der Humusbilanz und Bodenstrukturstabilisierung. Viele Zwischenfruchteffekte hängen ursächlich mit ihrem Wurzelsystem zusammen: Tiefwurzler ermöglichen die Aufnahme von Nitrat aus tieferen Bodenschichten, Wurzeln lockern den Boden und hinterlassen stabile Biomakroporen, durch die das Wasser rasch in den Boden infiltrieren kann, sie bilden eine wesentliche Quelle stabiler Humussubstanzen und sind damit besonders für die Bodenstrukturwirkung einer Begrünung von großer Bedeutung.

Eine systematische Beschreibung von Zwischenfruchtarten und -sorten im Hinblick auf ihre Umweltleistungen ist im Vergleich zur Sortenbeschreibung von Hauptfrüchten nicht

vorhanden. Dies gilt umso mehr für die Wurzeigenschaften der Begrünungspflanzen, deren Untersuchung unzureichend ist, um sie im Management zu berücksichtigen. Der folgende Beitrag zeigt Ergebnisse zum Wurzelsystem von Zwischenfruchtbegrünungen und ihrer Mineralisierungsdynamik. Über ein Wasser- und Stoffflussmodell werden die wurzelbedingten Funktionen einer Zwischenfrucht im Vergleich zu einer Brache analysiert. Ziel ist es, die Kenntnis der Wurzeigenschaften zu verbessern und deren Wichtigkeit zum Erzielen der angestrebten Umweltleistungen zu zeigen.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden auf Feldversuchen an der Versuchswirtschaft der BOKU in Raasdorf sowie an der Landwirtschaftlichen Fachschule Hollabrunn durchgeführt. Das Versuchsfeld in Hollabrunn ist eine Hanglage, während Raasdorf in der Ebene des Marchfeldes liegt. Beide Standort-

¹ Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur Wien, Gregor Mendel Straße 33, A-1180 WIEN

² Landwirtschaftliche Fachschule Obersiebenbrunn, Feldhofstraße 6, A-2283 OBERSEIBENBRUNN

³ Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien, Muthgasse 18, A-1190 WIEN

* Ansprechpartner: Dr. Gernot Bodner, gernot.bodner@boku.ac.at

te zählen zum semi-ariden pannonischen Produktionsgebiet Ostösterreichs mit Jahresniederschlagssummen von 520 mm bzw. 500 mm und einer mittleren Temperatur von 9,8 °C bzw. 8,8 °C. Der Bodentyp ist der für die pannonische Bodenprovinz typische Tschernosem aus Löss, wobei der Boden in Raasdorf durch einen höheren Schluffgehalt (65 % vs. 52 %) gekennzeichnet ist, während in Hollabrunn ein im Vergleich relativ hoher Feinsandanteil vorliegt.

Vom Standort Hollabrunn liegen zweijährige Daten für die Zwischenfrüchte Senf, Phacelia, Winterwicke und Grünroggen vor (Versuchsjahre 2004/05 und 2005/06), während in Raasdorf im Jahr 2009/10 Wurzeluntersuchungen an den Varianten Platterbse, Phacelia, Senf, Grünroggen und Öllein gemacht wurden. Das Management entsprach jeweils der ÖPUL-Variante A mit Anbau am 20. August. Die Wurzelprobenahme erfolgte mittels eines Bodenbohrers (\varnothing 7,5 cm) auf eine Tiefe von 60 cm (2009/10) bzw. in der Oberkrume (0-40 cm) Anfang Dezember, zu einem Zeitpunkt, als die

Begrünungen vor Winter ihre weiteste Entwicklung erreicht hatten. Die Bestimmung der Wurzelparameter wurde bildanalytisch mit der Software WinRhizo durchgeführt (HIMMELBAUER et al. 2004). Danach wurde die Trockenmasse der Wurzeln nach 48 Stunden im Trockenschrank bei 65°C bestimmt.

Die Mineralisierung der oberirdischen und Wurzelrückstände am Versuch Raasdorf wurde mit der Litterbag-Methode bestimmt (SILVER und MIYA 2001). Es wurde 2 g trockenes Material pro Litterbag am 30. Dezember in 5 cm Bodentiefe vergraben. Die Maschenweite der Netze betrug 1 mm. Je drei Säckchen wurden an drei Terminen (30.3., 9.4., 4.5.) ausgegraben und gewogen. Bestimmt wurde die Abnahme des Kohlenstoffgewichts (Trockenmasse bei Abzug des Ascheanteils).

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte varianzanalytisch mit der Software SAS. Die Bestimmung von Parametern zur Beschreibung der Wurzeltiefenverteilung nach

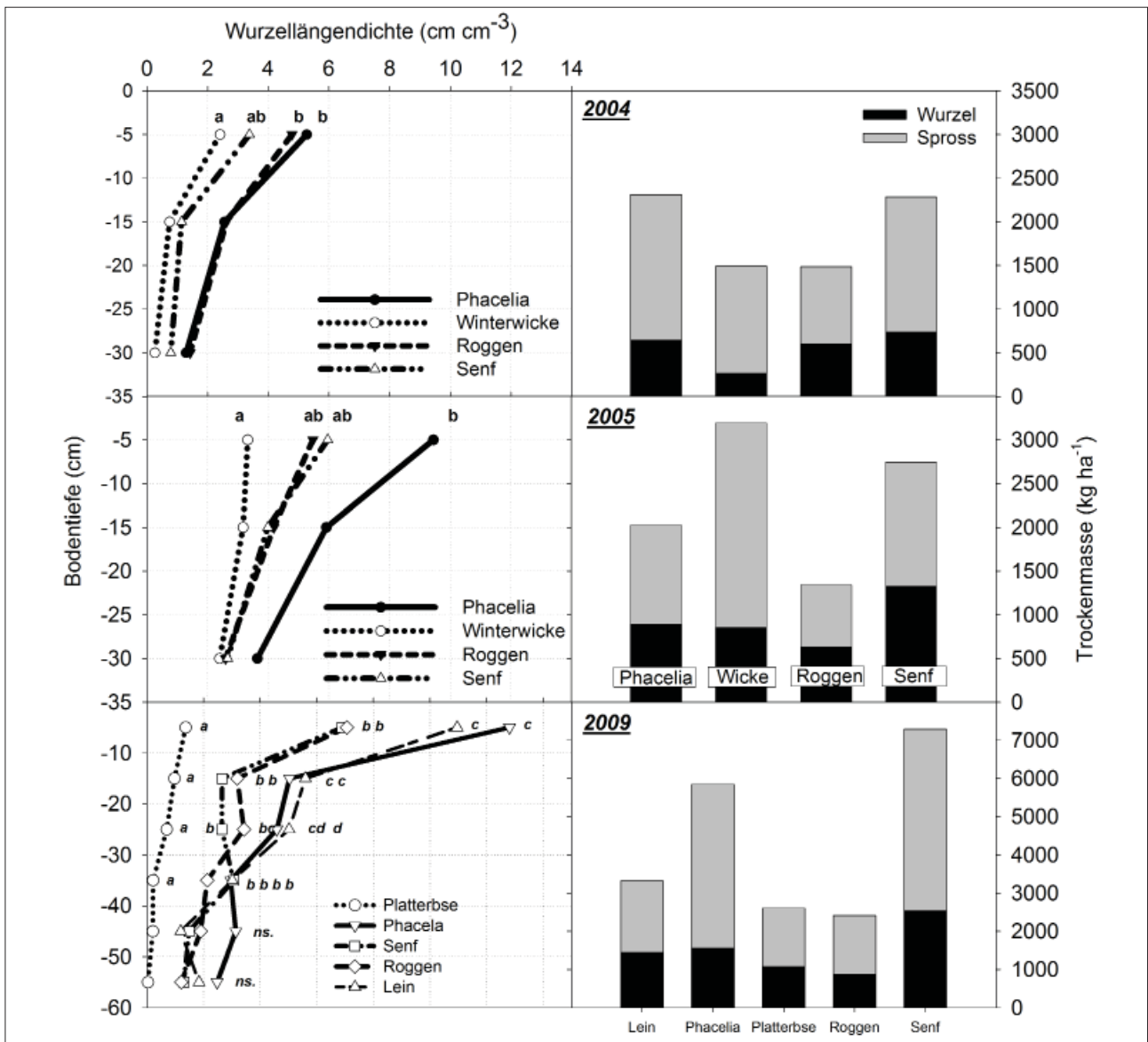


Abbildung 1: Wurzellängendichte, Wurzel- und Sprossbiomasse ausgewählter Zwischenfrüchte

GERWITZ und PAGE (1974) wurde mittels nichtlinearer Regression in SigmaPlot durchgeführt. Die Analyse der hydrologischen Auswirkungen unterschiedlicher Wurzelprofile erfolgte mit dem Simulationsprogramm HYDRUS 1D (SIMUNEK et al. 2008).

Ergebnisse und Diskussion

Wurzeldichte und Wurzelbiomasse

Abbildung 1 zeigt den Tiefenverlauf der Wurzellängendichte der Begrünungskulturen sowie deren Gesamttrockenmasse. Phacelia brachte in allen Jahren und an beiden Standorten die dichteste Durchwurzelung. Auch Lein (2009) führte zu sehr hohen Wurzellichten. Die damit zusammenhängende intensive Vernetzung der Bodenpartikel ist besonders für die Gefügestabilisierung von großer Bedeutung. Das Wurzelsystem der Leguminosen mit dickeren Einzelwurzeln lag dagegen bei der Durchwurzelungsdichte im unteren Bereich.

Hinsichtlich der Wurzelbiomasse zeigte Senf unter den Versuchsvarianten deutlichsten sekundären Verdickung der Primärwurzel die höchsten Werte. Das Wurzel/Sproß-Verhältnis lag zwischen 0,21 (Wicke 2004) und 0,94 (Roggen 2005), im Mittel bei 0,59. Dies beweist die Bedeutung des Wurzelsystems als Quelle organischer Substanz bei Zwischenfruchtbegrünungen. Bedenkt man den ständigen Kohlenstoffumsatz im Wurzelsystem (Exsudate, Feinwurzeln), der messtechnisch sehr schwierig zu erfassen ist (PIERRET et al. 2005), so wird die Bedeutung des Wurzelsystems für den Humushaushalt unterstrichen.

Wurzelmineralisierung

Die Wurzel als Humusquelle ist umso bedeutender als sich oberirdisches Pflanzenmaterial und Wurzelbiomasse in ihrer Abbaudynamik unterscheiden.

Abbildung 2 zeigt die Abnahme des Kohlenstoffes von in den Boden eingebrachten Zwischenfruchtrückständen. Die Wurzelrückstände wiesen eine höhere Stabilität auf als das Blattmaterial. Am 4. Mai waren im Mittel noch 34,3 % des eingesetzten Kohlenstoffes der Wurzelrückstände gegenüber 14,5 % des oberirdischen Materials vorhanden. Die unterschiedliche Qualität des Materials bei stärkerer Verholzung der Wurzelrückstände (besonders bei Lein) führt zu einer langsameren Mineralisierung des Wurzelmaterials, während die oberirdischen Rückstände als Gründünger rasch umgesetzt werden.

Wurzelverteilung

Neben der Wurzeldichte ist die Tiefenverteilung des Wurzelsystems für die agroökologische Wirkung von Begrünungen wichtig, besonders für Wasser- und N-Aufnahme. Tabelle 1 zeigt die Parameter des exponentiellen Wurzelverteilungsmodells von GERWITZ und PAGE (1974), welches die Messdaten sehr gut darstellen konnte (r^2 zwischen 0,73 und 0,94).

L_0 ist ein Indikator für die Dichte der Durchwurzelung, während der Parameter a die Abnahme mit der Tiefe

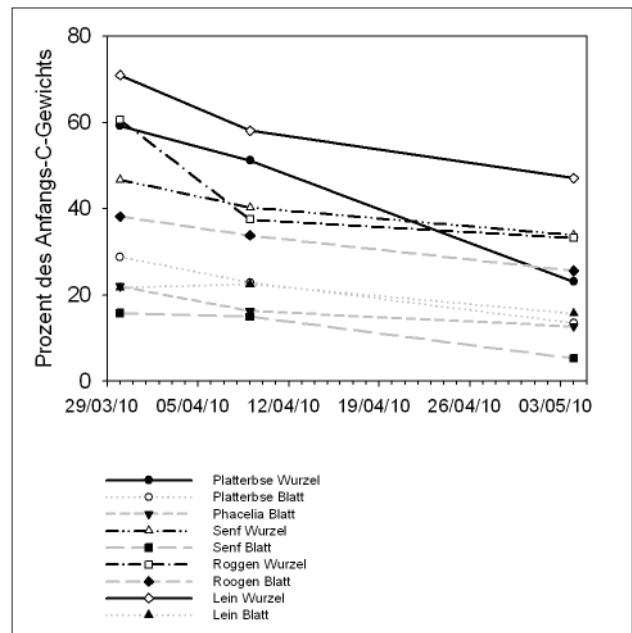


Abbildung 2: Mineralisierungsverlauf oberirdischer und Wurzelrückstände von Zwischenfrüchten

Tabelle 1: Parameter der Wurzelverteilung

		L_0 (cm cm ⁻³)	a (-)
Phacelia	2004	7,1	0,06
	2005	11,4	0,04
	2009	7,3	0,04
Senf	2004	5,1	0,09
	2005	7,0	0,03
	2009	14,7	0,05
Roggen	2004	6,1	0,05
	2005	6,4	0,03
	2009	7,8	0,04
Winterwicke	2004	4,1	0,11
	2005	3,6	0,01
Platterbse	2009	1,8	0,05
Lein	2009	13,2	0,04
		MITTELWERT ARTEN	
Phacelia		8,6	0,05
Senf		8,9	0,06
Roggen		6,8	0,04
Leguminosen		3,7	0,05
CV		39 %	16 %
		MITTELWERT JAHRE	
2004		5,6	0,0775
2005		7,1	0,0275
2009		7,9	0,045
CV		17 %	51 %

kennzeichnet. Die Arten unterschieden sich vor allem in ihrer Durchwurzelungsdichte im Oberboden, während die Tiefenabnahme eine geringere Artdifferenzierung aufwies. Dagegen wirkt sich die Jahreswitterung besonders auf die Tiefenverteilung, weniger aber auf die Wurzellichte aus. Die Durchwurzelungstiefe kann als Optimierung an die bodenhydrologischen und Nährstoffverhältnisse interpretiert werden (HO et al. 2004), während artspezifische Unterschiede sich stärker in der Wurzellichte zeigen.

Tabelle 2: Modellparameter für die Simulation mit HYDRUS 1D

Parameter	Wert
Bodenhydraulische Eigenschaften	
Schluffiger Lehm	
θ_s (cm ³ cm ⁻³)	0,45
θ_r (cm ³ cm ⁻³)	0,067
α (cm ⁻¹)	0,02
n (-)	1,41
K_{sat} (cm d ⁻¹)	10,8
Wasserstress-Parameter	
Feddes Reduktionsfunktion	
h_0 (cm)	-10
h_{opt} (cm)	-25
$h_{2,high}$ (cm)	-400
$h_{2,low}$ (cm)	-500
h_3 (cm)	-8000
Meteorologische obere Randbedingungen	
$ET_{0,früh}$ (mm)	262,9
$ET_{0,spät}$ (mm)	98,4
$NS_{trocken,früh}$ (mm)	156,2
$NS_{trocken,spät}$ (mm)	354,6
$NS_{feucht,früh}$ (mm)	103,0
$NS_{feucht,spät}$ (mm)	247,2
Untere Randbedingung	
Einheitsgradient	
Stofftransport	
Nicht-sorbierender Stoff	
Dispersionkoeffizient (cm)	5,0
Diffusionskoeffizient (cm ² d ⁻¹)	2,0
Anfangsbedingung	
$h_{trocken}$ (cm)	0 cm bis -100 cm: Lineare Abnahme von -1000 cm auf -330 cm -100 cm bis -200 cm: -330 cm (FK) 0 cm bis -200 cm: -330 cm (FK)
$h_{trocken}$ (cm)	

Wurzelfunktionen

Die Bedeutung der Wurzelsystemeigenschaften für wichtige Funktionen der Begrünung wurde über das Simulationsmodell HYDRUS-1D getestet. Ziel war die Abschätzung des Wurzeinflusses auf Wasserverbrauch und Nitratverlagerung im semiariden Raum Ostösterreichs. Tabelle 2 gibt die Inputparameter für die Simulation wieder, Abbildung 3 zeigt die geprüften Wurzelverteilungen.

Als potentielle Verdunstung wurde die Referenzevaporation (ET_0) nach Penman-Monteith angesetzt. Simuliert wurde aus einem 10jährigen Wetterdatensatz (2000-2010) aus Groß Enzersdorf das feuchteste und trockenste Jahr bei gleicher potentieller Evapotranspiration. Entsprechend den gemessenen Wurzelverteilungen wurden zwei Extreme mit (i) gleichmäßig über die Tiefe verteiltem Wurzelsystem (Wurzel 1) und (ii) oberflächennahem Wurzelsystem (Wurzel 2) simuliert (Abbildung 3).

Die Wurzelverteilung wird für die Simulation normalisiert (WU et al. 1999). Das Modell berücksichtigt keinen Einfluss der Wurzel-dichte. Die Auswirkungen dieser Wurzelverteilungen wurden für eine stark bodendeckende Zwischenfrucht (Transpiration = 90 % von ET_0) sowie eine geringer deckende Kultur (Transpiration = 65 % von ET_0) modelliert und mit Brache (Bodenevaporation = 100% von ET_0) verglichen. Ebenfalls berücksichtigt wurde eine früh gesäte Begrünung unter der Annahme vollständiger Pflanzenentwicklung ab dem ersten August und einer später gesäten Variante mit vollständiger Entwicklung ab 15. September. HYDRUS erlaubt keine genauere Modellierung des

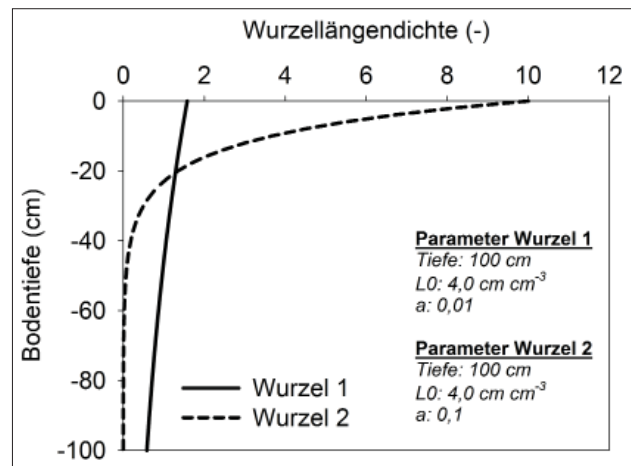


Abbildung 3: Normalisierte Wurzelverteilung für die Simulation zweier Zwischenfrüchte mit unterschiedlicher Wurzellängenallokation

Pflanzenwachstums. Die vereinfachte Repräsentation der Pflanze über klar definierte Randbedingungen, bietet jedoch den Vorteil einer eindeutigen Analyse der hydrologischen Auswirkungen der Wurzelverteilung. Dies ist in komplexeren Boden-Pflanze-Atmosphäre-Modellen mit umfassender Simulation des Pflanzenwachstums (z.B. Daisy, DSSAT, CropSyst) kaum möglich, da die verknüpften Submodelle und Algorithmen die Festlegung der Wurzelverteilung erschweren (diese ist ein zeitlich variabler Modelloutput) und damit die Vergleichbarkeit von Szenarien problematisch machen.

Tabelle 3: Aktuelle Verdunstung (ET), Anteil Transpiration und Versickerung bei unterschiedlichen Begrünungsszenarien und Schwarzbrache

Variante*	ET in mm (Anteil Transpiration)	Versickerung in mm
SZENARIO 1**		
Brache	124,8 (0,0)	5,3
Wurzel 1	179,0 (0,85)	5,0
Wurzel 2	145,6 (0,86)	5,3
Bedeckung 1	186,4 (0,64)	5,1
Bedeckung 2	146,5 (0,62)	5,3
SZENARIO 2		
Brache	194,2 (0,0)	5,7
Wurzel 1	256,6 (0,90)	4,1
Wurzel 2	222,6 (0,89)	4,5
Bedeckung 1	254,1 (0,66)	4,1
Bedeckung 2	218,7 (0,67)	4,6
SZENARIO 3		
Brache	73,1 (0,0)	3,8
Wurzel 1	92,3(0,90)	3,8
Wurzel 2	84,9 (0,89)	3,8
Bedeckung 1	92,5 (0,66)	3,8
Bedeckung 2	84,3 (0,65)	3,8
SZENARIO 4		
Brache	99,0 (0,0)	3,5
Wurzel 1	98,0 (0,90)	3,4
Wurzel 2	98,1 (0,90)	3,5
Bedeckung 1	98,6 (0,65)	3,4
Bedeckung 2	98,5 (0,65)	3,5

Legende:

***Varianten:** *Wurzel 1:* tiefergehendes Wurzelsystem, 90 % Bodendeckung; *Wurzel 2:* oberflächennahes Wurzelsystem, 90 % Bedeckung; *Bedeckung 1:* tiefergehendes Wurzelsystem, 65 % Bodendeckung; *Bedeckung 2:* oberflächennahes Wurzelsystem, 65 % Bedeckung

***Szenarien:** *Szenario 1:* Fröhsaat, Trockenjahr; *Szenario 2:* Fröhsaat, Feuchtjahr; *Szenario 3:* Normalsaat, Trockenjahr; *Szenario 4:* Normalsaat, Feuchtjahr; Fröhsaat: Entwickelter Bestand ab 1. August, Normalsaat: Entwickelter Bestand ab 15. September

Eine wichtige Kenngröße eines nachhaltigen Begrünungsmanagements im Trockengebiet ist der Wasserverbrauch. *Tabelle 3* zeigt den Wasserentzug bei den verschiedenen Szenarien.

Die Tiefenversickerung war sehr gering und unterschied sich kaum zwischen den Szenarien. Selbst in einem Feuchtjahr lag die potentielle Verdunstung bis Mitte Oktober über dem Niederschlag, was bei einem Boden mit hoher Speicherfähigkeit in dem betrachteten Zeitraum zu keiner Überschreitung der Wasserspeicherfähigkeit bis zwei Meter Profiltiefe führte. Versickerungsverluste sind erst über die Winter- und Frühjahrsmonate zu erwarten, einem Überhang des Niederschlages über die Verdunstung.

Der Wasserverbrauch der Begrünung liegt bei einer Variante mit gleichmäßiger Wurzeltiefenverteilung am höchsten, da sie die reduzierte Wasserverfügbarkeit im austrocknenden Oberboden durch den Wurzelentzug aus tieferen Schichten kompensieren kann. Die Differenz kann hier bis zu 64 mm (Szenario 2) betragen. Dagegen ist die Wasserentzugsdifferenz eine Zwischenfrucht mit oberflächennahem Wurzelsystem nur etwa halb so groß (ca. 20-30 mm). Da Begrünungen im Allgemeinen ein stärker oberflächennahes Wurzelsystem

aufweisen kann davon ausgegangen werden, dass der Wasserverbrauch bei einer früh gesäten Zwischenfrucht bei etwa +25 % im Vergleich zur Brache liegt. Interessant ist, dass sich eine Begrünung mit geringerem Deckungsgrad – etwa durch niedrige Saatmenge, unzureichende Saatechnik oder schlechten Feldaufgang - hinsichtlich des Wasserverbrauchs kaum von einem gut entwickelten Bestand unterscheidet. Der geringere Pflanzenwasserverbrauch geht über vermehrte Bodenevaporation verloren. Für einen späteren Anbau der Begrünung (Szenario 3 und 4), wie er in Österreich üblich ist (20. August), zeigt sich deutlich, dass kaum ein Unterschied im Wasserverbrauch gegenüber einer Brache zu erwarten ist.

Die Profilwassergehalte am Ende der Simulation – zu Winterbeginn bei Abfrostern der Begrünung – sind in *Abbildung 4* dargestellt.

In einem Trockenjahr ist die Wasserdynamik auf einem Boden mit hoher Speicherkraft in den oberen Bodenschichten konzentriert, die Infiltrationstiefe des Niederschlages ist auf ca. 40 cm beschränkt. Die durch den Pflanzenentzug bedingte Differenzierung im Profilwassergehalt folgt diesem Feuchteangebot aus den Niederschlägen und zeigt sich besonders zwischen 40 und 80 cm Bodentiefe, wo der Boden stärker ausgetrocknet wird. Der Oberboden bleibt dagegen bei einem hohen Deckungsgrade der Pflanzen bis 30 cm Tiefe wegen verringerter Evaporation feuchter. In einem Feuchtjahr zeigt sich die Differenzierung nur bei frühem Anbau in tieferen Schichten. Der Oberboden wird durch die Niederschläge gänzlich aufgefüllt, wobei bei der Brache ein Teil des Niederschlages in tiefere Schichten perkoliert, während er bei der Begrünung nicht ausreicht, den gesamten Profilspeicher unter 50 cm Tiefe aufzufüllen.

Abbildung 5 zeigt für die Variante einer tiefwurzelnden Zwischenfrucht mit hoher Deckung (Wurzel 1) die Unterschiede im Profilwassergehaltsverlauf zu Brache. Bei frühem Anbauermin ergibt sich etwa Mitte September, nach jenem Teil der Vegetationszeit mit hohem Verdunstungspotential der Atmosphäre, der maximale Unterschied. Zum Ende der Simulationsperiode lag die Zwischenfrucht bei 64 mm weniger Profilwasser zwischen 0 und 200 cm Bodentiefe. Dies entspricht einer mittleren Wassergehaltsdifferenz von ca. 3 Vol. % deren Verteilung *Abbildung 5* zeigt. Bei spätem Saattermin liegt die Differenz bei nur 20 mm bzw. zeigt sich keine Differenz bei einer Begrünung mit nur 65 % Deckungsgrad.

Abbildung 6 stellt die Auswirkungen auf die Nitratverteilung im Profil dar. Nach einem typischen anfänglichem Verteilmuster, etwa durch im Boden verbleibenden Stickstoffdünger nach der Hauptfrucht, mit 60 % in 0-30 cm, 31 % in 30-60 cm und 9 % in 60-90 cm Bodentiefe, finden sich bei einer Brache am Ende der Simulationsperiode 9 % in 0-30 cm, 29 % in 30-60 cm, 39 % in 60-90 cm und 23 % unter 90 cm Bodentiefe. Bei einer tiefwurzelnden Begrünung hat sich der NO_3^- -Gehalt durch die Pflanzenaufnahme um 72 % von anfänglich 92 kg ha⁻¹ auf 25 kg ha⁻¹ reduziert, wobei auch hier der Peak der Nitratkonzentration in der Schicht zwischen 60 und 90 cm Bodentiefe (84 cm) liegt.

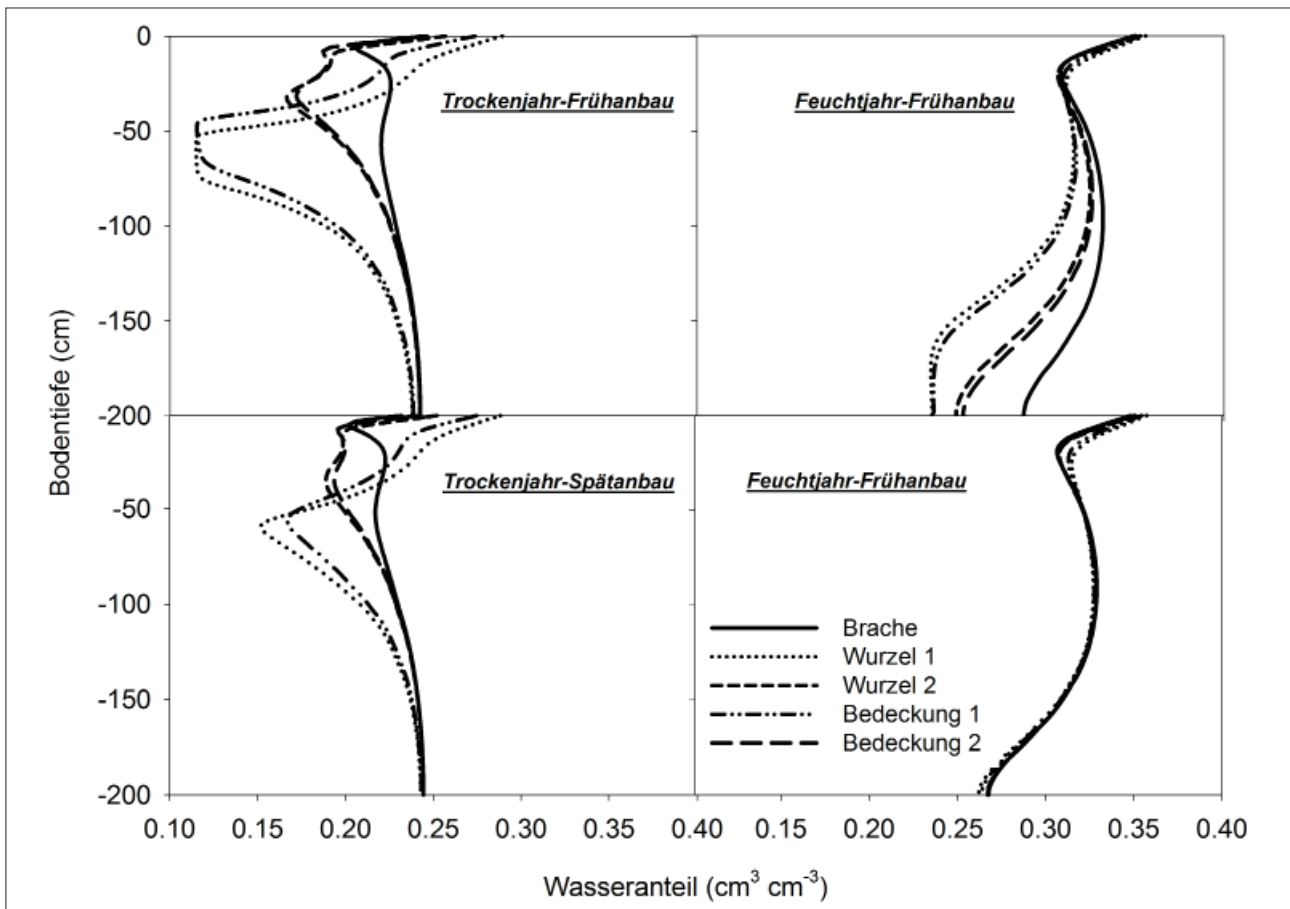


Abbildung 4: Profilwassergehalt am Ende der Simulation (Abfrieren der Begrünung)

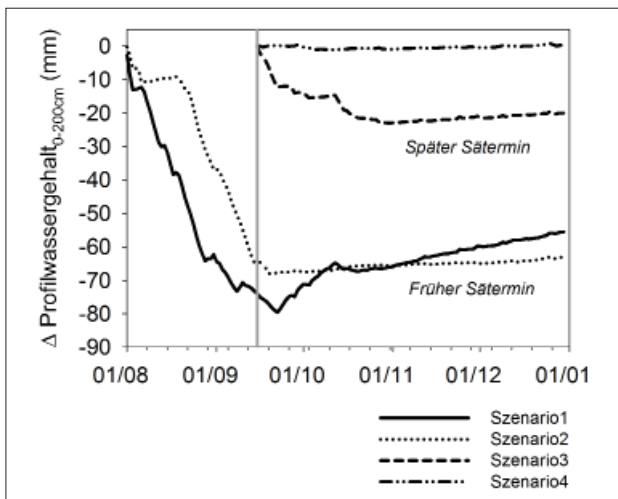


Abbildung 5: Profilwasserdifferenz zwischen Brache und einer tiefwurzelnden Begrünung bei unterschiedlichem Deckungsgrad und zwei Saatterminen

Schlussfolgerung

Zwischenfrüchte zeigen deutliche Unterschiede in ihrem Wurzelsystem, insbesondere in der Durchwurzelungsdichte des Oberbodens. Eine hohe Menge stabilen Wurzelmaterials trägt entscheidend zur Humusreproduktion bei. Die Tiefenverteilung der Wurzel wird vor allem durch Standort-

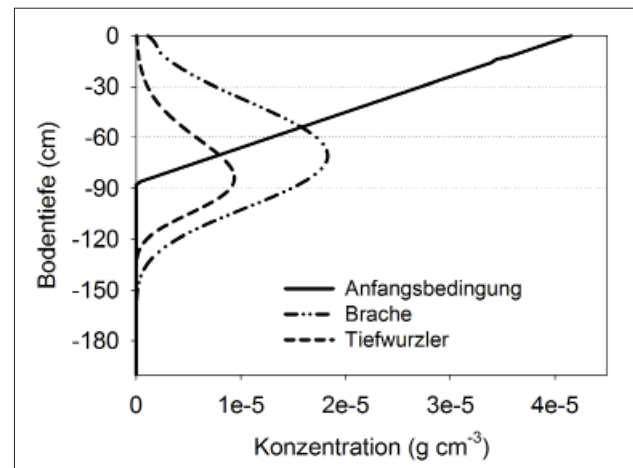


Abbildung 6: Konzentrationsprofil von Nitrat im Bodenprofil nach einer tiefwurzelnden Begrünung im Vergleich zu Brache in einem feuchten Jahr

hydrologie und Jahreswitterung bestimmt. Die Simulation des Einflusses von Wurzelverteilung und Oberflächenbedeckung auf Wasserdynamik und Stofftransport zeigt, dass die Wurzelverteilung für die Zwischenfruchtwirkung auf bodenhydrologische und bodenchemische Prozesse (Wasserverbrauch, Nitratverlagerung) wichtiger ist als der oberirdische Bedeckungsgrad. Dementsprechend ist

unter Trockenbedingungen eine rasch deckende, üppige Begrünung anzustreben, deren Wurzelsystem vor allem die Oberkrume intensiv durchwurzelt. Dies garantiert eine Wassernutzung, die vor allem auf der Umverteilung von unproduktiver Bodenverdunstung in Richtung Pflanzentranspiration basiert, ohne zusätzlichen höheren Wasserentzug aus tieferen Bodenschichten. Diese Empfehlung gilt nicht für jene Standorte, in denen die Reduktion der Nitratverlagerung der hauptsächliche Zweck der Begrünung ist, und damit tiefwurzeln Arten entscheidend sind. Unsere Ergebnisse zeigen klar, dass das Management der agroökologischen Wirkungen der Zwischenfrucht die Kenntnis ihres Wurzelsystems erfordert. Dies ermöglicht auch eine Artenwahl, die das wasserbedingte Risiko für die Folgekultur unter semiariden Bedingungen minimiert.

Literatur

- GERWITZ, A. and E.R. PAGE, 1974: An empirical mathematical model to describe plant root systems. *J. Appl. Ecol.* 11, 773-782.
- HIMMELBAUER, M.L., W. LOISKANDL and F. KASTANEK, 2004: Estimating length, average diameter and surface area of roots using two different image analysis systems. *Plant Soil* 260, 111-120.
- HO, M.D., B.C. McCANNON and J.P. LYNCH, 2004: Optimization modeling of plant root architecture for water and phosphorus acquisition. *J. Theor. Biol.* 226, 331-340.
- PIERRET, A, CH.J. MORAN and C. DOUSSAN, 2005: Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New Phytol.* 166, 967-980.
- SILVER, W.L. and R.K. MIYA, 2001: Global patterns in root decomposition: comparison of climate and litter quality effects. *Oecologia* 129, 407-419.
- SIMUNEK, J., M. SEJNA, H. SAITO, M. SAKAI and M.TH. VAN GENUCHTEN, 2008: The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-saturated media. University of California Riverside.
- WU, J., R. ZHANG and S. GUI, 1999: Modeling soil water movement with water uptake by roots *Plant Soil* 215, 7-17.